

УДК 543

DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108371

# ВПЛИВ ПОЛІЕЛЕКТРОЛІТУ НА ВЗАЄМОДІЮ І СПЕКТРОФОТО- МЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СКАНДІЮ(III) З ЕРІОХРОМЦІАНІНОМ

**Л. П. Сидорова**

Кандидат хімічних наук, доцент\*

E-mail: Sidorova\_lp@i.ua

**А. Ю. Чернявська**

Аспірант\*

**Т. С. Чмиленко**

Кандидат хімічних наук, доцент\*

**Ф. О. Чмиленко**Доктор хімічних наук, професор,  
заслужений діяч науки і техніки України,  
академік Академії наук вищої освіти України\*

\*Кафедра аналітичної хімії

Дніпровський національний

університет ім. Олеса Гончара

пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49050

*Вивчено взаємодію скандію (III) з еріохромціаніном R і поліелектролітом полісульфонілпиперидинілметилєнгідроксидом (ПСПМГ). Визначено оптимальні умови комплексоутворення і характеристики трикомпонентної сполуки. Розроблена методика спектрофотометричного визначення скандію у вигляді комплексу з еріохромціаніном і ПСПМГ. Запропоновано тест-шкали для візуального визначення скандію у вигляді потрійних систем на пінополіуретані та бавовні в інтервалі концентрацій від  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л*

*Ключові слова: скандій, еріохромціанін, поліелектроліт, тест-методика, поверхнево-активна речовина, спектрофотометрична методика*

*Изучено взаимодействие скандия (III) с эриохромцианином R и полиэлектролитом полисульфонилпиперидинилметилєнгидроксидом (ПСПМГ). Определены оптимальные условия комплексообразования и характеристики трехкомпонентного соединения. Разработана методика спектрофотометрического определения скандия в виде комплекса с эриохромцианином и ПСПМГ. Предложены тест-шкалы для визуального определения скандия в виде тройных систем на пенополиуретане и хлопке в интервале концентраций от  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л*

*Ключевые слова: скандий, эриохромцианин, полиэлектролит, тест-методика, поверхностно-активное вещество, спектрофотометрическая методика*

## 1. Вступ

Сучасна аналітична хімія має різноманітний арсенал методів визначення скандію. Інструментальні методи атомної спектроскопії, такі як емісійний спектрографічний аналіз [1, 2], проточно-інжекційний [3], нейтронно-активаційний [4], мас-спектрометричний аналіз [5] дають можливість точно визначати навіть малі кількості скандію в геологічних і біологічних об'єктах. Однак різні економічні чинники не дозволяють забезпечити усі лабораторії цим дорогим обладнанням, тому спектрофотометрія досі широко застосовується завдяки точності, простоті і невисокій вартості. При виконанні фізико-хімічних досліджень, аналізу різних сполук і матеріалів, що вміщують скандій, з певним поєднанням інших елементів до теперішнього часу широко використовують спектрофотометричні методи. Для удосконалення цих методів в якості аналітичних форм застосовують нові органічні похідні скандію, які разом з неорганічними аніонами і складними катіонами можуть істотно підвищити вибірковість визначення [6].

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Для фотометричного методу кількісного визначення скандію в складних об'єктах були запропоновані

численні реагенти, які мають високу чутливість, але порівняно низьку вибірковість. Це біс-(2,3,4-триоксифенілазо)-бензидин [6] еріохромціанін R (ЕХЦ) [7], хромазуrol S (XAS) [8], арсеназо III [9]. Ці органічні реагенти не відрізняються унікальною специфічністю і не можуть бути використані для виявлення скандію в присутності багатьох елементів, без попереднього відділення скандію від елементів, що заважають. Для підвищення чутливості і селективності спектрофотометричного визначення скандію застосовують екстракцію різними екстрагентами, такими як біс-(трифлуорометилсульфоніл)імід [10], N-(2-гідрокси-5-нонілбензил)-гідроксиетилметиламін [11], 1-алкілкарбоксил-3-метилімідазол-біс(трифлуорометилсульфоніл)імід [12] або систему ізопропіловий спирт-вода-нітрат натрію-роданід калію [13]. При виборі екстрагента для скандію, поряд з такими характеристиками як повнота витягу та вибірковість необхідно враховувати небезпеку (токсичність і летючість використовуваних реагентів), економічність. Цим вимогам найбільш повно відповідають двофазні водні системи на основі водорозчинних полімерів типу полієтиленгліколів (ПЕГ), які використовуються для розділення, концентрування і визначення рідких, радіоактивних елементів. Для вилучення і подальшого визначення скандію запропоновані екстракційні системи полієтиленгліколь - нітрат натрію (амонію) - вода

[8]. Також для підвищення чутливості та селективності визначення скандію застосовують різнолігандні комплекси скандію. У роботі [14] запропоновано визначати скандій у вигляді різнолігандного комплексу з біс-(2,3,4-триоксифенілазо)-бензидином та діантипірилметаном (або його гомологами)

Ще одним перспективним напрямком підвищення чутливості і селективності спектрофотометричних методик є застосування поверхнево активних речовин (ПАР), або поліелектролітів (наприклад ПСПМГ) [15]. Наведені данні комплексоутворення скандію з ЕХЦ в присутності катіоногенних поверхнево-активних речовин: наприклад цетилпіридиній хлорид (ЦПХ), цетилтриметиламмоній бромід (ЦТАМБ), додецилтриметиламмоній бромід (ДТМАБ), неіоногенний ПАР – тритон X-100, або аніоногенний – додецилсульфат натрію (ДСН). З зазначеним реагентом, модифікованим ПАР, скандій визначали в синтетичних сплавах, водах [7]. При введенні поліелектролітів (ПЕ) або поверхнево-активних речовин відбувається збільшення молярних коефіцієнтів світлопоглинання та підвищується контрастність реакцій (зсуви  $\lambda_{\max}$  приблизно на 50–150 нм). Як правило, є дві моделі механізму дії поверхнево-активних речовин: солюбілізація і формування потрійних комплексів. У присутності поверхнево-активних речовин гідрофобні молекули можуть ставати розчинними у водному середовищі [16].

### 3. Ціль та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження системи Sc-ЕХЦ-поліелектроліт для підвищення чутливості і вибіркового фотометричного визначення скандію, та на цій основі розробка тест-систем за отриманими результатами.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- дослідити потрійний комплекс скандію з еріохромціаніном R та поліелектролітом полісульфонілпіперидинілметиленгідроксидом;
- визначити оптимальні умови комплексоутворення та характеристики трикомпонентної сполуки;
- розробити методику спектрофотометричного визначення скандію в вигляді комплексу з ЕХЦ та ПСПМГ;
- вивчити сорбцію фотометричних реагентів на скандій еріохромціаніну R та хромазуrolу S, їх адуктів з ПСПМГ та ЦПХ, на сорбентах та розробити тест-системи.

### 4. Матеріали та методи досліджень, застосованих для розробки спектрофотометричної та кольориметричної методик визначення скандію

Використовувались органічні реагенти хромазуrol S, еріохромціанін R фірми "Fluka", (США) поверхнево активна речовина цетилпіридиній хлорид, поліелектроліт полісульфонілпіперидинілметиленгідроксид (середня молекулярна маса ПСПМГ – біля 2500,  $a:b=100:(40-90)$ ,  $n=10-12$ ).

Розчин солі скандію готували з оксиду скандію розчиненням точної наважки в концентрованій хлоридній кислоті при нагріванні. Усі реактиви марки х. ч. або ч. д. а. Вихідні розчини готували за точними

наважками речовини, розчини заданої концентрації – розведенням вихідних.

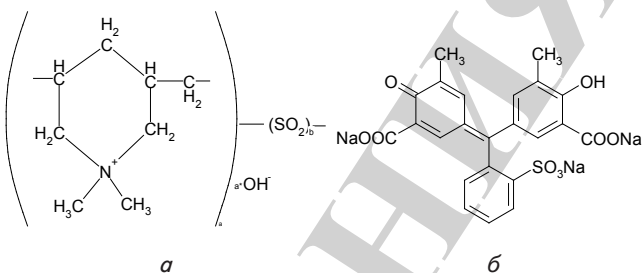


Рис. 1. Формули реагентів:

*a* – полісульфонілпіперидинілметиленгідроксид;  
*b* – еріохромціанін R

Вихідний розчин полісульфонілпіперидинілметиленгідроксиду готували розчиненням відповідної наважки полімеру в дистильованій воді.

В якості твердої матриці для іммобілізації системи досліджували сорбенти: оксид алюмінію, хроматографічний папір, пінополіуретан (ППУ) та тканини (льон, бавовна, атлас).

Величину рН розчинів контролювали за допомогою універсального іономеру ЕВ-74 (Білорусія) з використанням аргентум хлоридного електроду порівняння ЕВЛ-1М3.1 та скляного індикаторного електроду ЕСЛ-43-07. Спектри розчинів реєстрували на спектрофотометрі Spesord M40 (Німеччина).

Для досліджень використовували методи спектрофотометрії та потенціометрії.

### 5. Дослідження потрійного комплексу Sc-ЕХЦ-ПСПМГ для спектрофотометричного та кольориметричного визначення скандію(III)

#### 5. 1. Результати досліджень потрійного комплексу

Відомо, що скандій з ЕХЦ утворює комплекс з максимумом поглинання близько 535 нм [1]. При введенні ПСПМГ в подвійну систему Sc-ЕХЦ відбувається збільшення інтенсивності поглинання ( $A_{Sc-ЕХЦ R-ПСПМГ}/A_{Sc-ЕХЦ R}=4$ ) і значний батохромний зсув максимуму поглинання ( $\Delta\lambda=60$  нм) потрійної системи, який знаходиться в області 595 нм (рис. 2).

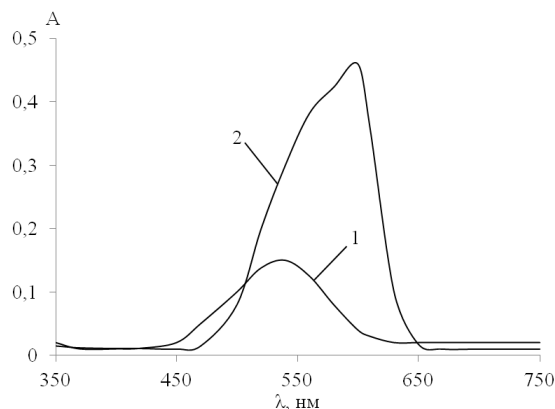


Рис. 2. Спектри поглинання комплексу скандію з еріохромціаніном R у відсутності (1) та присутності полісульфонілпіперидинілметиленгідроксиду (2); рН 5,5.  $C(Sc)=4 \cdot 10^{-6}$  М,  $C(ЕХЦ)=12 \cdot 10^{-6}$  М,  $C(ПСПМГ)=8 \cdot 10^{-6}$  М,  $l=1$  см

Для системи Sc-EXЦ-ПСПМГ важливий порядок зливання компонентів, так як вихідний розчин солі Sc є сильнокислим і катіон  $\text{Sc}^{3+}$  в значній мірі схильний до гідролізу при розведенні [1]. Вплив порядку зливання реагентів на взаємодію в системі досліджували спектрофотометрично. Максимальний ефект спостерігається для розчину, отриманого при зливанні в послідовності: 1 – скандій, 2 – EXЦ, 3 – ПСПМГ, 4 – буферний розчин. При визначенні залежності комплексоутворення в системі Sc-EXЦ-ПСПМГ від величини рН використовували розчини:  $C_{\text{Sc}}=1 \cdot 10^{-5}$  М,  $C_{\text{EXЦ}}=4 \cdot 10^{-5}$  М,  $C_{\text{ПСПМГ}}=4 \cdot 10^{-5}$  М. Вплив величини рН на комплексоутворення визначали спектрофотометрично в інтервалі рН від 2,0 до 9,0. Потрійна сполука утворюється в інтервалі рН 4,5–8,0. Максимальне і постійне значення оптичної густини спостерігається в інтервалі рН 5,5–6,5 (рис. 3).

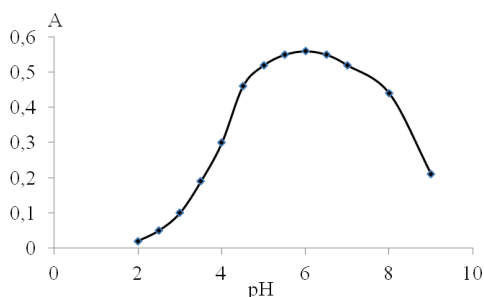


Рис. 3. Залежність оптичної густини системи Sc-EXЦ-ПСПМГ від величини рН.  $C_{\text{Sc}}=1 \cdot 10^{-5}$ ,  $C_{\text{EXЦ}}=4 \cdot 10^{-5}$  М,  $C_{\text{ПСПМГ}}=4 \cdot 10^{-5}$  М.  $\lambda=595$  нм,  $l=1$  см

Співвідношення Sc:EXЦ і Sc:ПСПМГ в трьохкомпонентному комплексі встановлювали спектрофотометричними методами – ізомольарних серій, зсуву рівноваги [17]. Згідно з результатами методу ізомольарних серій, скандій і EXЦ входять до складу потрійного комплексу в співвідношенні 1:1 (рис. 4, а) та 1:4 (рис. 4, б). Для аналітичних цілей рекомендовано останній. Співвідношення Sc:ПСПМГ, визначене за методом зсуву рівноваги, складало 1:1.

У табл. 1 представлені порівняльні характеристики деяких трикомпонентних комплексів скандію і EXЦ з поверхнево-активними речовинами.

Таблиця 1

Хіміко-аналітичні властивості змішаних комплексів скандію з еріохромціаніном R і поверхнево-активними речовинами

Р	Склад Sc: R:П	pH <sub>опт</sub>	$\lambda_{\text{ScRP}}$ , нм	$\Delta\lambda$ , нм ( $\lambda_{\text{ScRP}} - \lambda_{\text{ScR}}$ )	$\epsilon \cdot 10^{-5}$	Література
ЦТМАБ	1:3:1	6,5	610	75	5,6	11
ЦПХ	1:4:1	4,1	595	60	1,3	10
ПСПМГ	1:4:1 1:1:1	5,5–6,5 —	595 560	60 25	1,8 —	—

Розрахований молярний коефіцієнт поглинання потрійного комплексу Sc-EXЦ-ПСПМГ складу (1:4:1) –  $1,8 \cdot 10^5$ . Результати експерименту покладені в основу спектрофотометричної методики визначення скандію, та використані нами для розробки тест систем на скандій.

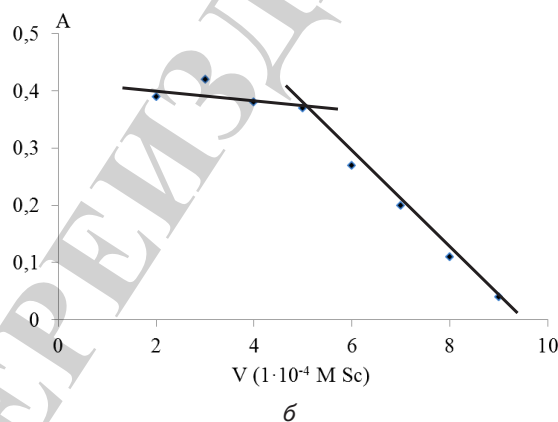
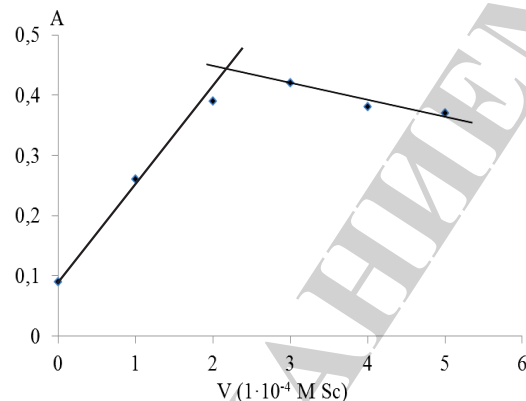


Рис. 4. Визначення співвідношення Sc:EXЦ в трикомпонентному комплексі методом ізомольарних серій.  $C_{\text{ПСПМГ}}=1,01 \cdot 10^{-4}$  М=const;  $C_{\text{Sc}}+C_{\text{EXЦ}}=4,0 \cdot 10^{-5}$  М: а – співвідношення Sc:EXЦ 1:1.....; б – співвідношення Sc:EXЦ 1:4

**Побудова градуального графіка.** У колби ємністю 25 мл вводили змінну кількість розчину скандію, 6,25 мл  $1 \cdot 10^{-4}$  М розчину EXЦ, 2,5 мл  $5 \cdot 10^{-4}$  М розчину ПСПМГ, 2 мл ацетатного буферного розчину (рН 5,5), доводили до мітки дистильованою водою. Вимірювали оптичну густину отриманих розчинів в кюветі з  $l=1$  см, при довжині хвилі 595 нм (рис. 5). Інтервал лінійності градуального графіку становить  $(0,1-3) \cdot 10^{-6}$  моль/л Sc. Коефіцієнт кореляції склав 0,998. Методика перевірена на модельних розчинах методом добавок. Отримані дані по визначенню скандію представлені в табл. 2.

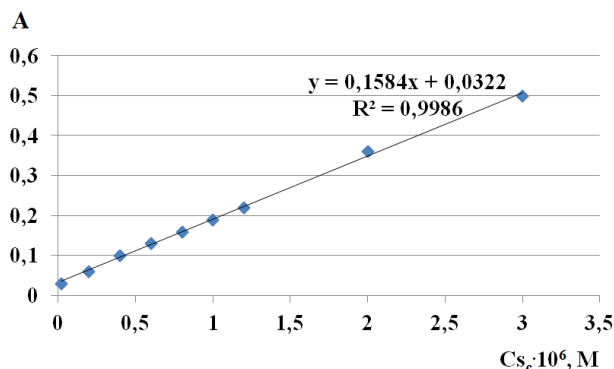


Рис. 5. Градувальний графік для визначення вмісту скандію.  $C_{\text{EXЦ}}=2,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л,  $C_{\text{ПСПМГ}}=5 \cdot 10^{-5}$  моль/л. рН 5,5;  $\lambda=595$  нм.  $l=1$  см

Таблиця 2

Результати спектрофотометричного визначення вмісту скандію в модельних розчинах

Вміст Sc, моль/л	Знайдено $C \pm \Delta$ ,	$S_r$
$1,5 \cdot 10^{-6}$	$(1,56 \pm 0,05) \cdot 10^{-6}$	0,03

Дворазовий і більший надлишок іонів алюмінію заважає визначенню скандію в вигляді Sc-EXЦ-ПСПМГ в сплавах, тому скандій рекомендуємо відокремлювати шляхом осадження за допомогою NaOH.

## 5.2. Сорбція оргреагентів, їх адуктів з ПСПМГ, ЦПХ та потрійних комплексів

На основі спектрофотометричного визначення Sc (III) EXЦ з ПСПМГ та ЦПХ розроблені тест системи на скандій. Для порівняння використані данні спектрофотометричного дослідження систем Sc(III)-ХАЗ-ПСПМГ та Sc(III)-ХАЗ-ЦПХ, які наведені в роботі [24]. Результати цих досліджень використані для розробки кольорометричної методики на скандій.

Для розробки тест систем на скандій реагенти сорбували у вигляді асоціатів з поліелетролітом (ПСПМГ) і поверхнево-активною речовиною ЦПХ.

В якості твердої матриці для іммобілізації системи досліджували 6 сорбентів та експериментально встановлювали оптимальні параметри сорбції скандію на твердофазних носіях.

**Підготовка твердої матриці.** Тканину та папір розрізали на квадратики площею  $1 \text{ см}^2$ , (пінополіуретан на кубики) та вимочували 1 годину в 0,1 М хлоридній кислоті, після чого промивали дистильованою водою до нейтральної реакції.

**Методика дослідження адсорбції оргреагенту на носіях.** Сорбцію на носіях вивчали в статичному режимі при кімнатній температурі. Для цього у конічні колби вводили розчин, що досліджували з визначеним значенням рН, визначеної концентрації, поміщали туди підготовлений сорбент і перемішували на електромеханічному струшувачі протягом 15 хвилин до встановлення сорбційної рівноваги. Виймали забарвлений сорбент з адсорбованим реагентом та висушували, а рівноважну концентрацію після сорбції визначали фотометричним методом. Адсорбцію розраховували за формулами, використовуючи метод порівняння зі стандартом.

**Дослідження сорбції трикомпонентної системи скандій – EXЦ(ХАЗ) – ПСПМГ(ЦПХ) на ППУ та бавовні.** Попередньо було встановлено, що EXЦ (ХАЗ) та їх комплекси зі скандієм за відсутності та присутності модифікуючого поліелектроліту ПСПМГ та поверхнево-активної речовини ЦПХ, краще сорбуються на ППУ та бавовні, забарвлення є стійким і спостерігається контрастність переходів від реагенту до комплексів. Тому для розробки тест-системи запропоновані ППУ та бавовна. Далі готували серію розчинів потрійного комплексу з постійним вмістом EXЦ (ХАЗ)  $2,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л ( $3,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л) і ПСПМГ (ЦПХ)  $2,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л ( $4,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л), та змінним вмістом скандію. Встановлювали оптимальне значення рН 5,5 ацетатним буферним розчином. Знімали спектри поглинання до сорбції.

Відбирали 20 мл досліджуваного розчину, поміщали в конічну колбу на 100 мл, додавали підготовлену

бавовну (ППУ). Сорбцію проводили протягом 15 хвилин, при інтенсивному перемішуванні на електромеханічному струшувачі. Після цього виймали забарвлений сорбент з адсорбованим реагентом та висушували. Знімали спектри поглинання розчинів після сорбції.

За одержаними результатами побудовані графіки залежності сорбції від рівноважної концентрації Sc. Як приклад, наведена ізотерма адсорбції скандію на ППУ (рис. 6) та параметри сорбції  $A_{\text{гран.}}$  та  $K_{\text{адс}}$  (табл. 3).

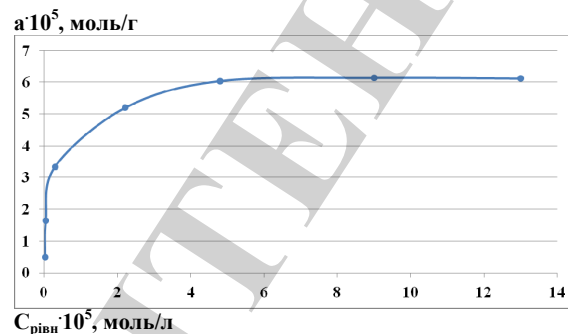


Рис. 6. Ізотерма адсорбції скандію у вигляді потрійного комплексу Sc-EXЦ-ЦПХ на пінополіуретані; рН=5,0

Таблиця 3

Графічно знайдені характеристики адсорбції скандію у вигляді потрійного комплексу Sc-EXЦ-ЦПХ на пінополіуретані

$A_{\text{гран.}} \cdot 10^5$ , моль/г	$K_{\text{адс}} \cdot 10^{-3}$
6,67	1,50

Ізотерми адсорбції (рис. 6) можна віднести до L класу, що свідчить про високу спорідненість адсорбату до адсорбенту. Вони лінеаризуються в координатах лінійної форми рівняння Ленгмюра. За допомогою лінеаризованих ізотерм графічно визначені  $A_{\text{гран.}}$  та  $K_{\text{адс}}$  скандію у вигляді потрійних комплексів для досліджених систем на ППУ та бавовні (табл. 3).

**Модифікація твердофазних носіїв.** ППУ (бавовну) спочатку поміщали в розчин ХАЗ(EXЦ) з концентрацією  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л при рН 5,5 і проводили сорбцію протягом 40 хвилин на електромеханічному струшувачі та залишали для висихання. Потім твердофазний носій з сорбованим оргреагентом поміщали в розчин ПСПМГ(ЦПХ)  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/л з рН 5,5, 40 хвилин перемішували на електромеханічному струшувачі.

**Тест-шкали для визначення скандію на твердофазних носіях: бавовні та ППУ** отримували при рН 5,5 в статичному режимі при кімнатній температурі. Для цього 20 мл стандартного розчину скандію з концентрацією  $(0,1-10) \cdot 10^{-6}$  моль/л, поміщали в конічну колбу на 100, додавали попередньо модифіковану бавовну (ППУ) витримували 15 хвилин, при інтенсивному перемішуванні на електромеханічному струшувачі. Після цього виймали забарвлений сорбент з адсорбованим реагентом та висушували.

**Спектрофотометричне визначення скандію з ХАЗ в присутності ПСПМГ** проводили згідно з [24]. В колби об'ємом 25 мл вводили змінну кількість розчину скандію, 3,75 мл  $2 \cdot 10^{-4}$  М розчину ХАЗ, 2,5 мл  $5 \cdot 10^{-4}$  М розчину ПСПМГ, 2 мл ацетатного буферного розчину (рН 5,9), доводили дистильованою водою до



мітки, контролюючи значення рН. Вимірювали оптичну густину отриманих розчинів при довжині хвилі 610 нм. *Спектрофотометричне визначення скандію з ЕХЦ в присутності ЦПХ.* Готували серію розчинів трикомпонентної системи еріохромціаніну R зі скандієм в присутності ЦПХ. Відбирали аліквоти 6,25 мл  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л ЕХЦ та  $1,25 \cdot 10^{-3}$  моль/л ЦПХ вміщували в кожен колбу на 25 мл, додавали наступні аліквоти скандію: 0; 2,50 мл; 6,25 мл; 12,50 мл ( $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л вихідний розчин скандію); 1,88 мл; 2,50 мл; 6,25 мл ( $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л розчин скандію). У всіх розчинах встановлювали величину рН 5,0 за допомогою ацетатного буферного розчину. Доводили дистильованою водою до мітки в колбах на 25 мл, перемішували та реєстрували оптичну густину приготовлених розчинів, в кюветі з  $l=1$  см, при  $\lambda_{\max}=595$  нм. Інтервал лінійності градуального графіку становить  $(1-10) \cdot 10^{-6}$  моль/л Sc.

#### 6. Обговорення результатів розробки тест систем на скандій

Для розробки кольориметричної методики з покращеними метрологічними характеристиками властивості аналітичної реакції варіювали, змінюючи послідовність модифікації та іммобілізації. Для оптимізації процесу вивчено модифікацію сорбенту з наступною іммобілізацією органічним реагентом (ОР) на сорбенті; іммобілізація ОР на сорбенті з наступною модифікацією поліелектролітом; іммобілізація комплексу ХАЗ (ЕХЦ)-Sc на модифікованому сорбенті; іммобілізація потрібних комплексів на Sc-ОР-модифікатор.

Побудовано ізотерми адсорбції скандію, розраховано параметри сорбції  $A_{\text{гран.}}$  та  $K_{\text{адс.}}$ .

На основі отриманих результатів запропоновано тест-систему для візуального визначення скандію у вигляді потрібних комплексів в інтервалі концентрацій від  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л: Sc-ЕХЦ-ЦПХ, Sc-ХАЗ-ПСПМГ на ППУ; Sc-ЕХЦ-ЦПХ, Sc-ХАЗ-ПСПМГ на бавовні.

Для кількісного визначення скандію отримані тест шкали сканували, розраховували параметри кольорових функцій, знаходили значення каналів R, G і B. Будували графік залежності інтенсивності каналу від концентрації і за даними величини апроксимації вибирали той графік, в якому величина апроксимації буде ближча до 1. Рівняння градувальних графіків наведені в табл. 4.

Кращі результати спостерігались при визначенні скандію у вигляді потрібного комплексу Sc-ЕХЦ-ЦПХ на ППУ зі зміною кольору від рожевого до синього. Ви-

значення скандію на ППУ та бавовні, модифікованих почергово ПСПМГ та ХАЗ зі зміною кольору від світло коричневого до синього також давали гарні результати.

Таблиця 4

Рівняння градувальних графіків оптимальних каналів

№	Потрійна система	Рівняння градуального графіку	Коефіцієнти кореляції
1	Sc-ХАЗ-ПСПМГ на ППУ	$y = -1,0713x + 10,91$	$R^2 = 0,9692$
2	Sc-ХАЗ-ПСПМГ на бавовні	$y = 1,2565x - 1,7125$	$R^2 = 0,9578$
3	Sc-ЕХЦ-ЦПХ на ППУ	$y = -2,5916x + 13,614$	$R^2 = 0,9939$
4	Sc-ЕХЦ-ЦПХ на бавовні	$y = 1,7576x + 13,34$	$R^2 = 0,9035$

#### 7. Висновки

1. Вивчено вплив катіонного водорозчинного поліелектроліту ПСПМГ на взаємодію скандію (III) з органічним реагентом еріохромціаніном. Показано, що ПЕ покращує хіміко-аналітичні характеристики цього реагенту: при введенні ПСПМГ в подвійну систему Sc-ЕХЦ відбувається збільшення інтенсивності поглинання в чотири рази.

2. Для утворення потрібного комплексу Sc-ЕХЦ-ПСПМГ визначений оптимальний інтервал рН (5,5–6,5), порядок зливання компонентів (1 – скандій, 2 – ЕХЦ, 3 – ПСПМГ, 4 – буферний розчин), спектрофотометрично встановлений склад комплексу Sc-ЕХЦ-ПСПМГ (1:4:1) та розрахований молярний коефіцієнт поглинання –  $1,8 \cdot 10^5$ .

3. Розроблена методика спектрофотометричного визначення скандію у вигляді комплексу з еріохромціаніном і ПСПМГ, побудований градувальний графік, інтервал лінійності якого становить  $(0,1-3) \cdot 10^{-6}$  моль/л Sc, коефіцієнт кореляції 0,998. Методика перевірена на модельних розчинах методом добавок.

4. Для розробки кольориметричної методики на скандій досліджено сорбцію на ППУ та тканині органічних реагентів (ЕХЦ та ХАЗ), їх адуктів з ПСПМГ і ЦПХ та потрібних комплексів. Запропоновано тест-шкали для візуального визначення скандію у вигляді потрібних систем Sc-ЕХЦ-ЦПХ, Sc-ХАЗ-ПСПМГ, побудовано градувальні графіки в інтервалі концентрацій від  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Запропонована кольориметрична методика ідентифікації скандію в розчинах.

#### Література

1. Жерноклеева, К. В. Анализ чистых скандия, иттрия и их оксидов методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой [Текст] / К. В. Жерноклеева, В. Б. Барановская // Зав. лаб. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76, № 11. – С. 20–26.
2. Kolibarska, I. Spectral interferences in the determination of traces of scandium, yttrium and rare earth elements in "pure" rare earth matrices by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [Text] / I. Kolibarska, S. Velichkov, N. Daskalova // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. – 2008. – Vol. 63, Issue 5. – P. 603–606. doi: 10.1016/j.sab.2008.03.007
3. Jerez, J. Determination of scandium in acid mine drainage by ICP-OES with flow injection on-line preconcentration using oxidized multiwalled carbon nanotubes [Text] / J. Jerez, A. C. Isaguirre, C. Bazan, L. D. Martinez, S. Cerutti // Talanta. – 2014. – Vol. 124. – P. 89–94. doi: 10.1016/j.talanta.2014.02.028

4. Baccolo, G. A new method based on low background instrumental neutron activation analysis for major, trace and ultra-trace element determination in atmospheric mineral dust from polar ice cores [Text] / G. Baccolo, M. Clemenza, B. Delmonte, N. Maffezzoli, M. Nastasi, E. Previtali et. al. // *Analytica Chimica Acta*. – 2016. – Vol. 922. – P. 11–18. doi: 10.1016/j.aca.2016.04.008
5. Whitty-Leveille, L. Scandium analysis in silicon-containing minerals by inductively coupled plasma tandem mass spectrometry [Text] / L. Whitty-Leveille, E. Drouin, M. Constantin, C. Bazin, D. Lariviere // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2016. – Vol. 118. – P. 112–118. doi: 10.1016/j.sab.2016.02.014
6. Алиева, Р. А. Спектрофотометрическое определение скандия (III) в вулканогенной породе с помощью бис-(2,3,4-триоксифенилазо) бензидина и алифатических аминов [Текст] / Р. А. Алиева, С. Р. Гаджиева, Т. И. Алиева и др. // *Молодой ученый*. – 2012. – № 3. – С. 105–108.
7. Sarsam, L. A. Spectrophotometric determination of scandium (III) with eriochrome cyanine R and cetylpyridinium chloride – application to waters and synthetic alloys [Text] / L. A. Sarsam, W. A. Bashir // *J. Raf. Sci.* – 2009. – Vol. 20, Issue 3. – P. 48–65.
8. Симонова, Т. Н. Экстракция и спектрофотометрическое определение скандия в двухфазной водной системе полиэтиленгликоль-нитрит натрия-вода [Текст] / Т. Н. Симонова, А. Н. Федотов // *Методы и объекты химического анализа*. – 2007. – Т. 2, № 1. – С. 51–55.
9. Симонова, Т. Н. Экстракционное извлечение и определение разнозарядных ацидокомплексов скандия(III) и церия(IV) в двухфазных водных системах [Текст] / Т. Н. Симонова, А. Н. Федотов // *Вісник Харківського нац. ун-ту*. – 2007. – № 770. – С. 132–136.
10. Onghena, B. Recovery of Scandium(III) from Aqueous Solutions by Solvent Extraction with the Functionalized Ionic Liquid Betainium Bis(trifluoromethylsulfonyl)imide [Text] / B. Onghena, K. Binnemans // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2015. – Vol. 54, Issue 6. – P. 1887–1898. doi: 10.1021/ie504765v
11. Быченков, Д. В. Комплексообразование скандия при его экстракции растворами N-(2-гидрокси-5-нонилбензил)-гидроксиэтилметиламина в октаноле [Текст] / Д. В. Быченков, С. А. Семенов, А. М. Резник // *Вестник МИТХТ*. – 2010. – Т. 5, № 3. – С. 41–44.
12. Chen, Y. Selective separation of scandium (III) from rare earth metals by carboxyl-functionalized ionic liquids [Text] / Y. Chen, H. Wang, Y. Pei, J. Wang // *Separation and Purification Technology*. – 2017. – Vol. 178. – P. 261–268. doi: 10.1016/j.seppur.2017.01.058
13. Симонова, Т. Н. Экстракция роданидных комплексов скандия в двухфазных водных системах [Текст] / Т. Н. Симонова, А. Н. Федотов, А. С. Белодед // *Украинский химический журнал*. – 2008. – Т. 74, № 8. – С. 113–117.
14. Гаджиева, С. Р. Новая методика фотометрического определения скандия (III) в прикаспийской светло-каштановой почве с бис-(2,3,4-тригидроксифенилазо)бензидином в присутствии диантипирилметана и его гомологов [Текст] / С. Р. Гаджиева, Т. И. Алиева, Ф. М. Чырагов // *Химия и хим. технология*. – 2008. – Т. 51, Вып. 10. – С. 48–51.
15. Чмиленко, Т. С. Влияние водорастворимого полисульфонилпиперидинилметилгидроксида на взаимодействие скандия (III) с хромазуролом S [Текст] / Т. С. Чмиленко, З. Г. Ольхова, Л. П. Сидорова и др. // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2007. – № 4. – С. 23–27.
16. Чмиленко, Т. С. Аналитическая химия полиэлектролитов и их применение в анализе [Текст] / Т. С. Чмиленко, Ф. А. Чмиленко. – Д.: Изд-во ДНУ, 2012. – 224 с.